В. П. Дьяконов

MATLAB R2007/2008/2009

для радиоинженеров

ДМК ПРЕСС
ИЗДАТЕЛЬСТВО
Москва, 2010

УДК 32.973.26-018.2
ББК 004.438
Д93

Д93 **Дьяконов В. П.**
MATLAB R2007/2008/2009 для радиоинженеров. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 976 с.: ил.

ISBN 978-5-94074-492-4

Книга посвящена применению матричной системы MATLAB в радиотехнических расчетах и в моделировании радиоэлектронных устройств и систем. Впервые описаны новейшие версии MATLAB R2007a,b/2008a,b/2009a с пакетами расширения Simulink 6/7, Signal Processing Toolbox, Filter Design Toolbox, RF Toolbox и Blockset, Wavelet Toolbox, Control Systems, SimPowerSystems и др. Описаны новейшие пакеты Simscape и SimElectronics моделирования электронных схем. Наряду с функциями командного режима работы описан интерактивный и визуально-ориентированный инструментарий пакетов с графическим интерфейсом пользователя GUI и математическое моделирование систем и устройств в среде Simulink 6/7. Описана интеграция MATLAB с современными цифровыми радиоизмерительными приборами и виртуальными лабораториями для управления приборами и обработки реальных осциллограмм. Для научных работников, инженеров в области обработки и фильтрации сигналов и изображений, студентов и преподавателей университетов и вузов.

Дьяконов Владимир Павлович

MATLAB R2007/2008/2009 для радиоинженеров

Главный редактор *Мовчан Д. А.*
dm@dmk-press.ru
Корректор *Синяева Г. И.*
Верстка *Чаннова А. А.*
Дизайн обложки *Мовчан А. Г.*

Подписано в печать 04.11.2009. Формат 70×100 $^{1}/_{16}$.
Гарнитура «Петербург». Печать офсетная.
Усл. печ. л. 61. Тираж 1000 экз.
№
Web-сайт издательства: www.dmk-press.ru
Internet-магазин: www.alians-kniga.ru

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-5-94074-492-4

© Дьяконов В. П., 2010
© Оформление, издание, ДМК Пресс, 2010

Краткое оглавление

Введение 3

Предупреждения 40

Благодарности 41

Адреса для переписки 41

Глава 1. РАБОТА С MATLAB И SIMULINK 43

Глава 2. РАСЧЕТ ЦЕПЕЙ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ФИЛЬТРАЦИЯ СИГНАЛОВ 119

Глава 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ФИЛЬТРАЦИЯ СИГНАЛОВ 253

Глава 4. СПЕЦИАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФИЛЬТРОВ 315

Глава 5. ВЕЙВЛЕТЫ В ПАКЕТЕ WAVELET TOOLBOX 413

Глава 6. ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТОВ 505

Глава 7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАДИОЧАСТОТНЫХ И ЭЛЕКТРОННЫХ ЦЕПЕЙ И УСТРОЙСТВ 595

Глава 8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ 675

Глава 9. МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ 801

Глава 10. РАБОТА MATLAB С ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ ПРИБОРАМИ 881

Список литературы 970

Оглавление

Введение 33

Предупреждения 40

Благодарности 41

Адреса для переписки 41

Глава 1. Работа с MATLAB и SIMULINK 43

1.1. Назначение и особенности системы MATLAB 44
1.1.1. Назначение системы MATLAB 44
1.1.2. Особенности версии MATLAB 7.* + Simulink 6.*/7.* 45
1.1.3. Особенности реализации версий MATLAB R2007a,b 46
1.1.4. Особенности реализации версий MATLAB R2008a,b 47
1.1.5. Особенности реализации версии MATLAB R2009a 47
1.2. Установка и файловая система MATLAB 7.* 48
1.2.1. Системные требования к установке 48
1.2.2. Инсталляция системы MATLAB R2007 49
1.2.3. Инсталляция системы MATLAB R2008/R2009 51
1.2.4. Файловая система MATLAB 53
1.3. Общие возможности MATLAB 53
1.3.1. Интеграция с другими программными системами 53
1.3.2. Ориентация на матричные операции 54
1.3.3. Расширяемость системы 55
1.3.4. Мощные средства программирования 56
1.3.5. Визуализация и графические средства 56
1.4. Начало работы с MATLAB R2008a 57
1.4.1. Запуск MATLAB и работа в режиме диалога 57
1.4.2. Классический интерфейс MATLAB 58
1.4.3. MATLAB в роли мощного научного калькулятора 59
1.4.4. Перенос строки в сессии 60
1.4.5. Запуск примеров применения MATLAB
из командной строки 61

1.4.6. Ввод и вычисление математических выражений 62
1.5. Типы данных 62
1.5.1. Действительные числа и их форматы 62
1.5.2. Комплексные числа и функции работы с ними 63
1.5.3. Константы и системные переменные 64
1.5.4. Работа с массивами, векторами и матрицами 65
1.5.5. Текстовые комментарии 68
1.5.6. Переменные и работа с ними 68
1.5.7. Операторы и функции 69
1.5.8. Применение оператора : (двоеточие) числовой последовательности 71
1.5.9. Сообщения об ошибках и исправление ошибок 73
1.6. Элементы программирования с среде MATLAB 74
1.6.1. Функции пользователя 74
1.6.2. Управляющие структуры 75
1.6.3. Файлы-сценарии и файлы-функции 78
1.6.4. Основы работы с редактором файлов 81
1.7. Операции с рабочей областью, текстом сессии и редактором m-файлов 82
1.7.1. Дефрагментация рабочей области 82
1.7.2. Сохранение рабочей области сессии 83
1.7.3. Ведение дневника 83
1.7.4. Загрузка рабочей области сессии 85
1.7.5. Завершение вычислений и работы с системой 85
1.8. Графика системы MATLAB 86
1.8.1. Особенности графики системы MATLAB 86
1.8.2. Графики функций одной переменной 87
1.8.3. Построение графиков функций двух переменных (3D-типа) 89
1.8.4. Форматирования и редактирование графиков 92
1.9. Специальные средства графики 97
1.9.1. Обработка данных в графическом окне 97
1.9.2. Полиномиальная регрессия для табличных данных 97
1.9.3. Оценка погрешности аппроксимации 99

1.9.4. Расширенные возможности окна приближения кривых 101
1.9.5. Сплайновая и эрмитовая интерполяции в графическом окне 101
1.9.6. Графики разного типа в одном окне 103
1.9.7. Низкоуровневая дескрипторная графика 105
1.10. Работа со справкой и демонстрационными примерами MATLAB 106
1.10.1. Запуск справочной системы Help Desk 106
1.10.2. Работа с демонстрационными примерами 108
1.11. Пакет блочного имитационного моделирования Simulink 109
1.11.1. Доступ к пакету расширения Simulink 109
1.11.2. Построение диаграмм моделей в Simulink 111
1.11.3. Запуск моделей Simulink из среды MATLAB 114
1.11.4. Особенности интерфейса Simulink 114
1.11.5. Поиск и загрузка модели 115
1.11.6. Установка параметров компонентов модели и моделирования 116
1.11.7. Запуск процесса моделирования 118

Глава 2. Расчет цепей и моделирование сигналов 119

2.1. Символьные расчеты простых электронных цепей 120
2.1.1. Пакет символьной математики Symbolic Math Toolbox(tm) 120
2.1.2. Символьные функции и переменные 123
2.1.3. Символьные матричные операции 126
2.1.4. Символьные функции математического анализа 131
2.1.5. Символьные интегральные преобразования 138
2.1.6. Задачи на комбинированное соединение компонентов 143
2.1.7. Расчет передачи энергии от двух источников постоянного тока 144

2.1.8. Пример применения метода узловых потенциалов 145
2.1.9. Расчет мостовой схемы методом контурных токов 146
2.1.10. Примеры расчета цепей на переменном токе 147
2.1.11. Примеры расчета переходных процессов в *RC*-цепях 147
2.1.12. Применение интеграла Дюамеля 150
2.1.13. Расчет переходных процессов включения реле 151
2.1.14. Расчет и построение АЧХ и ФЧХ электрических цепей 152
2.2. Представление сигналов и зависимостей 155
2.2.1. Сигналы и их виды 155
2.2.2. Примеры моделирования сигналов средствами ядра MATLAB 157
2.2.3. Аппроксимация и интерполяция нелинейных зависимостей 161
2.2.4. Фурье-интерполяция периодических функций 168
2.2.5. Прохождение сигналов через искажающие устройства 169
2.2.6. Быстрые прямое и обратное преобразования Фурье 170
2.3. Начало работы с пакетом Signal Processing Toolbox 175
2.3.1. Назначение пакета Signal Processing Toolbox 6.0/6.1 175
2.3.2. Общепринятые сокращения и условные обозначения ... 176
2.3.3. Установка пакета Signal Processing Toolbox 177
2.3.4. Информационная поддержка пакета Signal Processing Toolbox 178
2.4. Работа с комплексными числами и массивами 181
2.4.1. Вычисление модуля комплексного числа — abs 181
2.4.2. Вычисление фазы комплексного числа — angle 182
2.4.3. Группирование комплексных чисел — cplxpair 182
2.4.4. Преобразование в инверсный битовый порядок — bitrevorder 183
2.4.5. Функция удаления элементов в массиве downsample ... 183
2.4.6. Добавление элементов в массив upsample 184
2.4.7. Дискретная фильтрация 185

2.5. Функции Signal Processing для моделирования сигналов ... 188
2.5.1. Косинусоида с переменной частотой — chirp ... 188
2.5.2. Функция Дирихле — diric ... 190
2.5.3. Синусоида, модулированная функцией Гаусса — gauspuls ... 191
2.5.4. Генерация Гауссового моноимпульса — gmonopuls ... 192
2.5.5. Генерация импульсов — pulstran ... 193
2.5.6. Генерация пилообразного или треугольного колебания — sawtooth ... 194
2.5.7. Функция sinc и интерполяция сигнала ... 195
2.5.8. Генерация прямоугольных импульсов — square ... 196
2.5.9. Генерация апериодических треугольных импульсов — tripuls ... 197
2.5.10. Управляемый напряжением источник — vco ... 198
2.6. Функции задания окон ... 199
2.6.1. Назначение окон ... 199
2.6.2. Задание окна Бартлетта — bartlett ... 200
2.6.3. Задание окна Блэкмана — blackman ... 200
2.6.4. Задание прямоугольного окна — boxcar ... 201
2.6.5. Задание окна Чебышева — chebwin ... 201
2.6.6. Задание окна Хэмминга — hamming ... 201
2.6.7. Задание окна Хэннинга — hanning ... 202
2.6.8. Задание окна Кайзера — kaizer ... 202
2.6.9. Создание треугольного окна — triang ... 203
2.6.10. Новые функции задания окон ... 203
2.6.11. Обобщенная функция задания окон — window ... 204
2.6.12. Построение графиков амплитудного спектра окон ... 204
2.6.13. Применение вьювера окон WVTool ... 206
2.7. Изменение частоты дискретизации сигналов ... 206
2.7.1. Децимация — decimate ... 206
2.7.2. Интерполяция сигналов — interp ... 208
2.7.3. Рациональное изменение частоты дискретизации — resample ... 210
2.8. Модуляция и демодуляция сигналов ... 212

2.8.1. Создание модулированных сигналов — modulate 212
2.8.2. Демодуляция сигналов — demod 213
2.8.3. Пофрагментный вывод сигналов — strips 214
2.9. Специальные операции с сигналами 215
2.9.1. Создание буфера кадров сигнала — buffer 215
2.9.2. Свертка одномерных сигналов — conv 216
2.9.3. Операция, обратная свертке — deconv 217
2.9.4. Свертка двумерная и многомерная — conv2 и convn 217
2.9.5. Дискретные сфероидальные последовательности — dpss 217
2.10. Дискретные быстрые преобразования Фурье 218
2.10.1. Прямое одномерное дискретное БПФ — fft 218
2.10.2. Перегруппировка выходного массива преобразования Фурье — fftshift 220
2.10.3. Обратное одномерное дискретное БПФ — ifft 221
2.10.4. Матрица дискретного преобразования Фурье — dftmtx 221
2.10.5. Прямое и обратное двумерное БПФ — fft2 и ifft2 222
2.11. Специальные виды преобразования сигналов ... 223
2.11.1. Прямое дискретное косинусное преобразование — dct 223
2.11.2. Обратное дискретное косинусное преобразование — idct 224
2.11.3. Z-преобразование по спиральному контуру — czt 224
2.11.4. Преобразование Гильберта — Hilbert 226
2.12. Кепстральный анализ 227
2.12.1. Комплексный кепстр действительной последовательности — cceps 227
2.12.2. Вещественный кепстр и минимально-фазовая реконструкция — rceps 228
2.12.3. Обратный комплексный кепстр — icceps 228
2.13. Спектральный анализ дискретных сигналов 228
2.13.1. Основы спектрального анализа дискретных сигналов 228
2.13.2. Параметры функций спектрального анализа 230

2.13.3. Метод Бурга — pburg 231
2.13.4. Ковариационный метод — pcov 233
2.13.5. Модифицированный ковариационный метод — pmcov 234
2.13.6. Многооконный метод — pmtm 234
2.13.7. Метод Уэлча — pwelch 235
2.13.8. Метод собственных значений — peig 237
2.13.9. Метод Юла-Уокера — pyulear 237
2.13.10. Метод классификации множественных сигналов — pmusic 238
2.13.11. Вычисление частот и мощностей по алгоритму MUSIC — rootmusic 239
2.13.12. Сравнение спектральных оценок разными методами 240
2.14. Статистика сигналов 241
2.14.1. Оценка КМК двух сигналов — cohere 241
2.14.2. Взаимная СПМ двух сигналов — csd 242
2.14.3. Вычисление корреляционной и ковариационной матриц — corrcoef и cov 244
2.14.4. Взаимная корреляционная функция — xcorr и xcorr2 ... 244
2.14.5. Оценка матрицы автокорреляции — corrmtx 246
2.14.6. Взаимная ковариационная функция xcov 246
2.15. Средства визуализации спектра сигналов 246
2.15.1. Построение периодограмм — periodogramm 246
2.15.2. Построение графиков спектральной плотности 247
2.15.3. Построение спектрограмм — specgram 248
2.15.4. Применение функции дискретного Фурье-преобразования goertzel 252

Глава 3. Моделирование и фильтрация сигналов 253

3.1. Построение характеристик фильтров 254
3.1.1. Классификация фильтров 254
3.1.2. Основные структуры фильтров 256
3.1.3. АЧХ аналогового фильтра — freqs 257